



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **09244706 A**(43) Date of publication of application: **19 . 09 . 97**

(51) Int. Cl.

G05B 13/02
B61L 27/00
G06F 17/60

(21) Application number: **08050026**(71) Applicant: **HITACHI LTD**(22) Date of filing: **07 . 03 . 96**

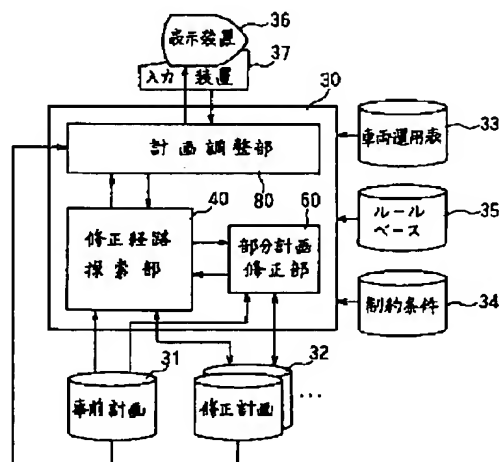
(72) Inventor: **OSAKI NOBUYUKI**
AKATSU MASA HARU
MURATA TOMOHIRO

(54) **METHOD AND DEVICE FOR PLAN CORRECTION** COPYRIGHT: (C)1997,JPO

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To correct a plan so that the correction is suppressed locally by finding an optimum solution which meets essential restrictions as to one partial plan to the utmost and further finding an optimum solution which meets target restriction based upon the condition that a previous plan is not corrected as much as possible when the essential restrictions are met.

SOLUTION: A partial plan correction part 60 when reallocating remaining operation styles to remaining resources in response to a change of the operation style of a resource at a specific date performs the reallocation of the date by referring to restriction conditions 34 and a rule base 35 so that the cost in case of a violation of the restriction conditions is minimum, and generates a corrected plan 32. A correction path search part 40 decides whether or not the essential restriction conditions are met and repeats the process of the partial correction part 60 when not. If a sufficient solution can not be obtained even by making a search as to a specific number of succeeding days, that is reported to a plan adjustment part 80, which supports the relaxation of the restrictions.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-244706

(43)公開日 平成9年(1997)9月19日

(51)Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 5 B 13/02			G 0 5 B 13/02	J
B 6 1 L 27/00			B 6 1 L 27/00	H
G 0 6 F 17/60			G 0 6 F 15/21	L
				C

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平8-50026

(22)出願日 平成8年(1996)3月7日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 大崎 伸之

神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株

式会社日立製作所システム開発研究所内

(72)発明者 赤津 雅晴

神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株

式会社日立製作所システム開発研究所内

(72)発明者 村田 智洋

神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株

式会社日立製作所システム開発研究所内

(74)代理人 弁理士 蔭田 利幸

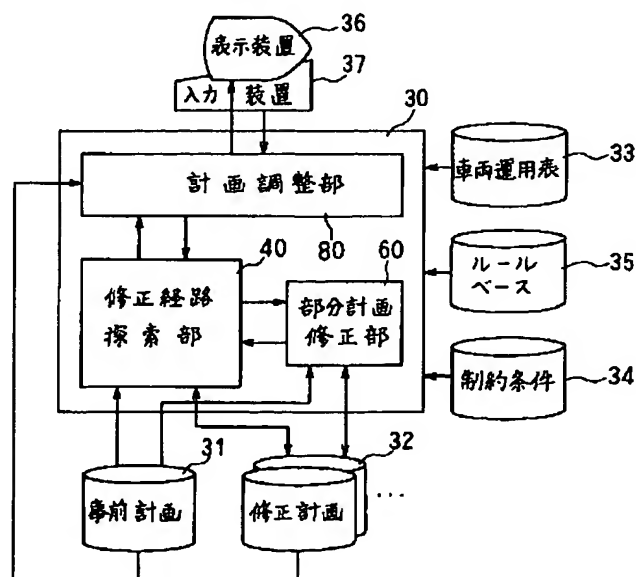
(54)【発明の名称】 計画修正方法及び装置

(57)【要約】

【課題】 予め作成された事前計画31は、各日付について複数の資源の各々に対して運用形態のうちの1つを割り当てたものである。事前計画31の変更に際してできるだけ波及する修正量を少なくするような計画修正を行う。

【解決手段】 特定の日付について資源の運用形態の変更に応答して、部分計画修正部60は残りの資源に対して残りの運用形態を再割当するときに、制約条件34及びルールベース35を参照して制約条件に違反する場合のコストを最小にするようにその日付について再割当し、修正計画32を作成する。修正経路探索部40は必須の制約条件を充足するか否かを判定し、充足しない場合には次の日付について部分計画修正部60の処理を繰り返す。連続する所定の日数について探索しても充足解が得られないとき、計画調整部80に報告し、計画調整部80が制約緩和を支援する。

図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】所定時間を連続する複数の時間帯に分割し、並行して作業可能な複数の資源の各々と該時間帯の各々に対して該資源の運用の仕方（運用形態）のうちの 1 つを割り当てたものを計画とみなし、該計画を修正する方法において、
 該資源及び該運用形態をそれぞれ識別子で表現する該計画を第 1 の記憶装置に格納し、
 該資源に該運用形態を割り当てるとき守るべき必須の制約条件を第 2 の記憶装置に格納し、
 該資源に該運用形態を割り当てるとき該制約条件に違反する場合のコスト又はペナルティ値を第 3 の記憶装置に格納し、
 該計画のうち特定の時間帯に属する少なくとも 1 つの資源の運用形態の変更に応答して変更する資源とその変更後の運用形態を除く残りの資源に対して残りの運用形態を再割当するときに、少なくとも該特定の時間帯に隣接する時間帯の 1 つとの間に存在する制約条件を充足するものとし、該コストの総計を最小にするように該特定の時間帯について該再割当をすることを特徴とする計画修正方法。

【請求項 2】該必須の制約条件に加えてさらにできるだけ元の計画を変更しないことを条件とする目標制約を第 2 の記憶装置に格納し、該目標制約に違反する場合のコストを第 3 の記憶装置に格納し、該特定の時間帯について該コストの総計を最小にするように該再割当をすることを特徴とする請求項 1 記載の計画修正方法。

【請求項 3】該特定の時間帯についてすべての該制約条件を充足する再割当が完成したとき、該運用形態の変更と該再割当とを含む修正した計画を表示装置上に表示することを特徴とする請求項 1 記載の計画修正方法。

【請求項 4】該再割当の結果として該制約条件に違反する再割当で終了した場合、該運用形態の変更と該再割当の結果とによって該特定の時間帯の計画を修正し、該特定の時間帯に隣接する時間帯の 1 つについて該特定の時間帯との間の制約条件を充足するような該再割当の処理を行い、該隣接する時間帯の 1 つについて計画を修正することを特徴とする請求項 1 記載の計画修正方法。

【請求項 5】該再割当の結果として該制約条件に違反する再割当で終了した場合、制約違反の程度を数値で表現する復帰制約違反度を算出することを特徴とする請求項 1 記載の計画修正方法。

【請求項 6】該隣接する時間帯の 1 つについての該再割当の処理と計画修正、さらに隣接する時間帯の 1 つについての該再割当の処理のように連続する複数の時間帯について所定の回数の該再割当の処理を順次繰り返した後、該制約条件に違反する再割当で終了した場合、最後に再割当した時間帯から始めて時間的に逆方向に隣接する時間帯について該再割当の処理を行い、該逆方向に隣接する時間帯について計画を修正し、該制約条件に違反

する再割当である限り逆方向に連続する複数の時間帯について該所定回数までの該再割当の処理と計画修正を順次繰り返すことを特徴とする請求項 4 記載の計画修正方法。

【請求項 7】該制約条件に違反する再割当で終了した時間帯の各々について、制約違反の程度を数値で表現する復帰制約違反度を算出することを特徴とする請求項 6 記載の計画修正方法。

【請求項 8】所定時間を連続する複数の時間帯に分割し、並行して作業可能な複数の資源の各々と該時間帯の各々に対して該資源の運用の仕方（運用形態）のうちの 1 つを割り当てたものを計画とみなし、該計画を修正する装置において、
 該資源及び該運用形態をそれぞれ識別子で表現する該計画を格納する第 1 の記憶装置と、
 該資源に該運用形態を割り当てるとき守るべき必須の制約条件を格納する第 2 の記憶装置と、
 該資源に該運用形態を割り当てるとき該制約条件に違反する場合のコスト又はペナルティ値をルールとして格納する第 3 の記憶装置と、

該計画のうち特定の時間帯に属する少なくとも 1 つの資源の運用形態の変更に応答して変更する資源とその変更後の運用形態を除く残りの資源に対して残りの運用形態を再割当するときに、少なくとも該特定の時間帯に隣接する時間帯の 1 つとの間に存在する制約条件を充足するものとし、該コストの総計を最小にするように該特定の時間帯について該再割当をする処理手段とを有することを特徴とする計画修正装置。

【請求項 9】第 2 の記憶装置は、該必須の制約条件に加えてさらにできるだけ元の計画を変更しないことを条件とする目標制約を格納し、第 3 の記憶装置は、さらに該目標制約に違反する場合のコストを格納し、該処理手段は該特定の時間帯について該コストの総計を最小にするように該再割当をすることを特徴とする請求項 8 記載の計画修正装置。

【請求項 10】該処理手段は、さらに該特定の時間帯についてすべての該制約条件を充足する再割当が完成したとき、該運用形態の変更と該再割当とを含む修正した計画を表示装置上に表示することを特徴とする請求項 8 記載の計画修正装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、あらかじめ作成された計画を修正する技術に係わり、特にできるだけ修正量を少なくするような計画修正方法及び装置に関する。

【0002】

【従来の技術】電子計算機を利用して仕事に資源を割り当てる方法、いわゆるスケジューリング方法は古くから研究されており、様々なスケジューリングシステムが実用化されている。しかし実用化されているスケジューリ

ングシステムの多くは、スケジュールの運用に先だって作成する事前の計画であり、スケジュールの運用中に修正が必要になった場合、人手により修正するか、再スケジュールリングで対応されているのが現状である。このように再計画によって修正を行った場合、事前計画を大幅に修正する計画を作成してしまい、それに伴って余分な運用コストがかかったり、計画の運用に携わる人間に混乱を生じさせる場合がある。

【0003】計画修正に関する技術として、例えば特開平4-168570号公報がある。この公報は計算機上に計画修正機能を設けることについてのみ述べている。また「Solving Large-Scale Constraint Satisfaction and Scheduling Problems Using a Heuristic Repair Method」(Proceedings of the Eighth National Conference on Artificial Intelligence, pp.17-24, 1990)で紹介されている計画修正システムは、競合箇所を修正し、この修正に伴って生じる新たな競合箇所がなくなるまで繰り返し競合箇所の修正を続けていくという手法をとっている。しかしこの方式は、ある部分の修正が新たな競合箇所を生じさせることになり、潜在的に大きな修正量を生じさせる可能性をもっており、修正を局所的に抑えるのが困難な場合がある。

【0004】また計画修正では少ない修正量で与えられた制約を充足する計画が存在する保証はなく、当初定めた制約を適切に緩和することが必要となる。制約緩和を計画作成に用いる技術として、例えば特開平4-81968号公報を挙げることができる。この技術は、制約違反している箇所を特定しその箇所に関してできるだけ優先度の低い制約を緩和している。しかし最も制約緩和が少なく済む制約違反箇所を探すことはしない。このためやはり修正を局所的に抑えるのが困難な場合がある。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】以上述べたように、修正量をできるだけ少なく抑えるような計画修正の技術は知られていない。

【0006】本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、できるだけ修正を少なく抑えることのできる計画修正方法及び装置を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、所定時間を連続する複数の時間帯に分割し、並行して作業可能な複数の資源の各々との時間帯の各々に対して複数の運用のうちの1つを割り当てたものを計画とすると、資源に運用形態を割り当てる際守るべき必須の制約条件を設定し、この計画のうち特定の時間帯に属する少なくと

も1つの資源の運用形態の変更に応答して変更する資源とその変更後の運用形態を除く残りの資源に対して残りの運用形態を再割当する場合に、少なくともこの特定の時間帯に隣接する時間帯の1つとの間に存在する制約条件を充足するものとし、制約条件に違反する場合のコストの総計を最小にするようにこの特定の時間帯について再割当をする計画修正方法及び装置を特徴とする。

【0008】本発明によれば、1つの時間帯についての計画(部分計画)を単位として、この部分計画についてできるだけ必須の制約条件を充足するような最適の解を求める。また部分計画についてできるだけ事前計画を修正しないための制約条件を目標制約として導入し、目標制約にもコストを設定しておけば、必須の制約条件を充足するような最適解が複数ある場合に、その中でできるだけ部分計画の中の運用割当を修正しないような最適解が得られる。

【0009】さらに特定の部分計画について求めた最適解が必須の制約条件に違反するような再割当に終わった場合に、この最適解に従ってこの部分計画を修正し、この部分計画に隣接する部分計画の1つについて上記再割当の処理を繰り返す。すなわち必須の制約条件を充足する部分計画を求めるための探索を隣の部分計画に伝播させる。

【0010】このようにして必須の制約条件を充足するような最適解が求まるまで、順次隣の部分計画に探索を伝播させる。時間軸の正方向に探索を伝播させて行き、所定の数の連続する時間帯について探索しても必須制約を充足する最適解が得られない場合には、さらに負方向に折り返して順次隣の部分計画に探索を伝播させる。

【0011】

【発明の実施の形態】

(1) はじめに

以下、本発明の計画修正方法を車両運用計画の修正問題に適用した場合の実施形態について図面を用いて説明する。

【0012】図2は、車両運用表と呼ばれるもので、車両が1日の時間帯の間に運用される状況を示す図である。図は横軸の方向に時刻を示し、縦軸の方向に運用の識別子として運用番号を示す図である。例えば運用番号0の運用の仕方又は運用形態は、朝5時過ぎに駅Aを出発し、途中で検査を行い、夜23時過ぎに駅Bに到着する運用であることを示している(運用形態を以下単に運用という)。

【0013】図3は、車両運用計画を示す図である。この計画は、スケジュールの運用に先だって最初に作成される計画であり、以下事前計画と呼ぶことにする。図は横軸の方向に1ヶ月のうちの日付を示し、縦軸の方向に車両の識別子として車両番号を示している。日付と車両番号によって決まる位置に置かれた番号が運用番号であり、車両運用表にある運用番号0~22のいずれかの運

用が割り当てられている。この例は車両という資源に対して運用を割り当てるものである。

【0014】次に挙げる制約a～dの制約条件は、車両運用計画を作成するときの必須制約条件であり、図3に示す事前計画はこれらの必須制約を充足している。

制約a：各車両の当日の出発駅は前日の終着駅と同じであること

制約b：各車両は3日以内に検査を受けること

制約c：制約bの検査以外に予め決められた短期及び長期の検査計画があり、各車両がこれらの検査に該当する日には運転しないこと

制約d：制約cにおける検査の前日の定められた時刻までに検査を行う駅に入庫していること。

【0015】次に挙げる制約e～gの制約条件は、計画を修正するとき考慮すべき制約である。

制約e：故障車両は翌日修理を行うために予備車両と翌日の運用を交替する

制約f：1日の中での修正をできるだけ少なくする

制約g：できるだけ短い期間の修正で目標計画に復帰する計画を求める

制約eは必須制約条件であり、制約f及びgは目標制約条件である。目標計画とは、事前計画又は修正された計画で修正後に復帰の目標となる計画である。

【0016】次に挙げる制約h～iの制約条件は、計画を修正するとき考慮すべき制約である。

制約h：各車両の当日の終着駅は翌日の出発駅と同じであること

制約i：6日以内に事前計画に復帰すること

計画を修正するとき、制約a及び制約hは必須制約条件であり、制約iは目標制約条件である。

【0017】図3に示す車両運用計画を運用中に、例えばある車両の故障によって事前計画を修正しなければならない事態が生じる。このとき制約eによってまず故障車両は修理を行うために翌日予備運用に割り当てられる（事前計画からみたとき再割当である）。本実施形態で扱う計画修正問題は、上記の制約条件を満足し、故障日から何日か以内に目標計画に復帰できるように故障の翌日から事前計画に修正を施した修正計画を求めるものである。

【0018】図3の例によれば、1日の運用計画は21台の車両に23種類の運用を割り当てるものである。ある日の運用計画を変更すると、制約条件を考慮しないと翌日に各車両に運用を割り当てる割り当て方の数、すなわち翌日の修正可能な運用計画の数は一般に複数個である。翌日の可能な運用計画の1つを選択したとき、この選択した運用計画に対して翌々日の可能な運用計画の数はさらに複数個となる。このようにしてある日の1つの運用計画を出発点としたときこれから派生する翌日の運用計画の組、さらに派生する翌々日の運用計画の組、・・・の全体は、各運用計画を1つのノードとする探索

木を構成する。本実施形態は、探索木の幹から枝の方に向けてすべての経路を1つ1つ探索するという手法ではなく、1日分の運用計画についてできるだけ制約条件を充足する最適の解を求め、その結果事前計画について適用した必須の制約条件に違反していたら翌日分の運用計画について最適解を求めるというように1日分の運用計画を単位として翌日、翌々日のように探索する範囲を伝播させて行く手法を用いる。以下このような解の求め方を経路探索と呼ぶことにする。また1日分の運用計画を部分計画と呼ぶことがある。目標計画に復帰した日以後の各日付の部分計画は目標計画の通りとなる。

【0019】(2)第1の実施形態

図1は、第1の実施形態の情報処理装置の構成を示す図である。事前計画31は図3に示すような修正前の事前計画を格納するテーブルである。修正計画32は1つ又は複数のテーブルで構成され、各テーブルは制約違反を含む修正計画又は制約違反のない最終の修正計画である。

部分計画修正部60は、与えられたテーブル名の手前計画31及び修正計画32を参照して与えられた日付の部分計画についてできるだけ制約条件を充足する最適の運用計画を求め、その結果によって与えられた修正計画32を修正する処理部である。修正経路探索部40

は、部分計画修正部60が修正した修正計画32を参照して算出された部分計画が次の日から目標計画に復帰できるようなものか否かを判定し、復帰できるものであれば処理を終了し、復帰できず次の日の部分計画を修正すれば目標計画に復帰できる可能性がある場合には次の日の部分計画について部分計画修正部60を駆動するというアルゴリズムに従って経路探索をする処理部である。

表示装置36は、処理装置30に接続され、最終的な修正計画又は制約緩和した修正計画案を表示する装置である。入力装置37は、処理装置30に接続され、指示やデータを入力するための装置である。計画調整部80

は、修正経路探索部40からの報告又は要求に従って最終的な修正計画を表示装置36に表示したり、制約違反を含む修正計画について制約緩和の調整をして作成した修正計画案を表示装置36上に表示する処理部である。

修正経路探索部40、部分計画修正部60及び計画調整部80は、処理装置30の記憶装置に格納されるプログラムを実行することによって実現され得る。車両運用表33は、図2に示すような運用表を格納するテーブルである。

制約条件34は、上記のように車両運用計画を作成するとき及び修正するときの制約条件を格納するファイルである。ルールベース35は、修正経路探索部40、部分計画修正部60及び計画調整部80が判定処理をするときのルールを格納するファイルである。事前計画31、修正計画32、車両運用表33、制約条件34及びルールベース35は、処理装置30の記憶装置に格納されるテーブル又はファイルである。

【0020】図4a及び図4bは、修正経路探索部40

の処理の流れを示すフローチャートである。修正経路探索部40は、入力装置37から計画調整部80を介する指示に従って事前計画31を修正計画32として複写し、複写した修正計画32にテーブル名を付与し、制約eに従って故障した車両の翌日の運用を予備車両と交替するように修正計画32を修正する(ステップ41)。次に目標計画として事前計画32のテーブル名、修正計画32のテーブル名、最初の修正日付が故障の翌日、探索伝播の方向が正方向(日付の上昇方向)をパラメータとする一次経路探索を行う(ステップ42)。経路探索の詳細は図4bに示されている。まず修正経路探索部40は、修正計画32のテーブル名、修正日付、伝播方向及び必須の運用割当をパラメータとして部分計画修正部60を呼び出し、できるだけ制約条件を充足するような部分計画の修正を行って結果を与えられたテーブル名をもつ修正計画32に格納する(ステップ51)。ここで必須の運用割当は故障車両に予備の運用を割り当てることである。それ以外にも目標計画に設定した車両の運用の割当を必須とする場合に指定する。次に修正された部分計画を参照し、修正日だけの修正にとどめ探索伝播の方向に沿って次の日に修正の影響が及ばないことを条件として復帰制約違反度を計算する(ステップ52)。ここで次の日に修正の影響が及ばないとは、修正日の部分計画が制約a～制約d及び制約hの必須制約に違反せずかつ次の日から目標計画に復帰することを意味する。復帰制約違反度の計算に当っては、ルールベース35に格納された例えば次のようなルールを適用する。

【0021】ルールp: if 修正された部分計画によって次の日から目標計画に復帰可能

then 復帰制約違反度=0

ルールq: if 修正された部分計画についてあとn個の検査を入れることができれば次の日から目標計画に復帰可能

then 復帰制約違反度= $n \times 100$

これ以外のルールを設定することも可能である。復帰制約違反度の全体はすべてのルールによる復帰制約違反度の和となる。次に計算の結果、復帰制約違反度が0であれば(ステップ53YES)、計画調整部80に修正した修正計画32のテーブル名をパラメータとする終了報告をして(ステップ54)、処理を終了する。復帰制約違反度が0でないとき(ステップ53NO)、修正された部分計画によって目標計画に復帰する見込があるか否かを判定する(ステップ55)。例えば制約b, c, dに違反していなければ、目標計画に復帰する可能性がある。逆に制約b, c, dに違反していれば以後この制約違反が回復する見込はなく、これ以上探索伝播を進めても意味はない。復帰可能であるとき(ステップ55YES)、ステップ51～55の処理を所定回数行っていない場合(ステップ56NO)、計算した復帰制約違反度を保存して修正日付を次の日に設定し(ステップ5

7)、ステップ51に戻って上記処理を繰り返す。ステップ56で所定回数とは、制約iの「6日以内に事前計画に復帰すること」の条件に従えば所定回数は5となる。ステップ51～55の処理を所定回数行ったとき(ステップ56YES)、ステップ43へ行き、目標計画のテーブル名、修正した修正計画32のテーブル名、各修正日及びその復帰制約違反度を計画調整部80に報告する。目標計画に復帰する見込がなければ(ステップ55NO)、計画調整部80に修正した修正計画32のテーブル名をパラメータとして復帰不可能の終了報告をして(ステップ59)、処理を終了する。

【0022】計画調整部80から制御が戻ったとき、修正経路探索部40は最後に修正処理した修正計画32を保存するため、これを複写して新しいテーブル名を付与する(ステップ44)。次に目標計画とする修正計画32のテーブル名、新しいテーブル名、最初の修正日付が最後の修正日、探索伝播の方向が逆方向(日付の下降方向)をパラメータとする二次経路探索を行う(ステップ45)。ここで目標計画は最後に修正された修正計画32である。修正経路探索部40は新しい修正計画32のテーブル名、修正日付、伝播方向及び必須の運用割当をパラメータとして部分計画修正部60を呼び出し、部分計画の修正を行って結果を指定したテーブル名をもつ修正計画32に格納する(ステップ51)。修正日付が車両故障の翌日の場合には必須の運用割当を指定する。次に上記のように復帰制約違反度を計算し(ステップ52)、復帰制約違反度が0であれば(ステップ53YES)、計画調整部80に修正した修正計画32のテーブル名をパラメータとする終了報告をして(ステップ54)、処理を終了する。復帰制約違反度が0でなく(ステップ53NO)、復帰可能であればステップ51～55の処理を所定回数行っていない場合(ステップ56NO)、修正日付を逆方向に次の日に設定し(ステップ57)、ステップ51に戻って上記処理を繰り返す。ステップ51～55の処理を所定回数行ったとき、すなわち車両故障日の翌日の部分計画について処理を行ったとき(ステップ56YES)、ステップ46へ行き、目標計画のテーブル名、修正処理した修正計画32のテーブル名、各修正日及びその復帰制約違反度を計画調整部80に報告する。

【0023】再び計画調整部80から制御が戻ったとき、ステップ44～46の処理を所定回数行っていないとき(ステップ47NO)、ステップ44に戻り、最後に修正処理した修正計画32を複写して新しいテーブル名を付与した後、ステップ45の二次経路探索を行う。この二次経路探索のパラメータは、目標計画となる最後に修正処理した修正計画32のテーブル名、新しいテーブル名、修正日付が最後の修正日、探索伝播の方向が最後のステップ45の処理の方向と逆方向である。このようにして探索伝播方向が負方向、正方向、負方向、・・

・の二次経路探索を所定回数行ったとき（ステップ47 YES）、計画調整部80に調整を要求する（ステップ48）。

【0024】部分計画修正部60は、与えられたテーブル名をもつ修正計画32を参照して与えられた修正日付の部分計画を修正し、修正した部分計画によって同じテーブル名の修正計画32を更新する。以下修正のアルゴリズムの例を示す。問題は変数 c_{ij} が

$c_{ij}=1$ ：車両 i が運用 j に割り当てられている。

$c_{ij}=0$ ：車両 i が運用 j に割り当てられていない。

とし、 x_{ij} が車両 i を運用 j に割り当てるときのコスト（あるいはペナルティ値）とすると、

【0025】

【数1】

$$F = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (\text{数1})$$

【0026】で与えられる目的関数 F を最小にする c_{ij} を求めることである。 n は車両の数、 m は運用の数である。ここでコスト x_{ij} は次の式で与えられる。

【0027】

$$\forall i, \sum_{j=1}^m c_{ij} = 1 \quad (\text{数4})$$

【0031】すなわちすべての j に対して c_{ij} を i が1から n まで加え合わせたものが1であり、すべての i に対して c_{ij} を j が1から m まで加え合わせたものが1である。

【0032】ルールベース35に格納される制約の集合CNDと δ_k の値の例を以下に挙げる。

$k=1$ ：車両 i の現在の出発駅が運用 j の出発駅と違う； $\delta_1=10000$

$k=2$ ：車両 i が検査必須であるのに運用 j に検査がない； $\delta_2=10000$

$k=3$ ：車両 i が月例検査である；月例検査の運用でないとき； $\delta_3=10000$

$k=4$ ：車両 i が月例検査の前日に定められた時刻までに基地に戻らない；定刻までに基地に戻る運用でないとき； $\delta_4=10000$

$k=5$ ：事前計画で決められた車両 i の運用の終着駅が運用 j の終着駅と違う； $\delta_5=100$

$k=6$ ：事前計画で決められた運用と運用 j が違う； $\delta_6=100$

$k=7$ ：事前計画で決められた運用には検査があるが、運用 j には検査がない； $\delta_7=100$

制約の集合CNDの中で $k=1\sim4$ が目標計画についての必須制約違反に相当し、 $k=5\sim7$ が事前計画についての目標制約違反に相当する。必須制約違反の場合のコストは、目標制約違反のコストに比べて格段に大きくする。必須制約違反がない場合には、目標制約違反のコス

*【数2】

$$x_{ij} = \sum_{k \in \text{CND}} \delta_k y_{kij} \quad (\text{数2})$$

【0028】ここで δ_k は制約 k についてのコストの重み付け、 y_{kij} は

$y_{kij}=1$ ：車両 i に運用 j を割り当てたとき制約 k に抵触する。

$y_{kij}=0$ ：抵触しない。

である。CNDは以下に示す制約の集合である。すなわち x_{ij} は $\delta_k y_{kij}$ を集合CNDのすべての k について加え合わせて得られる。なお変数 c_{ij} には次の条件が課せられる。

【0029】

【数3】

$$\forall j, \sum_{i=1}^n c_{ij} = 1 \quad (\text{数3})$$

【0030】

【数4】

*

トの総計を最小にするような最適解が得られる。

【0033】なお必須の運用割当が指定されたとき、指定された車両とその運用は上記の最適化処理の対象から除かれる。例えば最初の修正日付については故障した車両は予備車両の運用が割り当てられるから故障車両の運用割当は必然的に決定され、故障車両及び予備車両は対象とする車両 i 及び運用 j から除かれる。また計画修正時の必須制約 a 及び h に従って探索伝播の方向を考慮し、与えられた修正日付について探索伝播の方向とは逆の方向については前日と境界条件を合わせるように車両 i に運用 j を割り当てねばならない。例えば探索伝播方向が正方向のとき少なくとも出発駅については前日の終着駅に対して制約違反をしないような割当でなければならない。また探索伝播方向が負方向のとき少なくとも終着駅については翌日の出発駅に対して制約違反をしないような割当でなければならない。

【0034】以上のようにして部分計画の復帰制約違反度が0となって計画調整部80に終了報告するとき（ステップ54）、たとえ途中で復帰制約違反度が0でない部分計画が生じたとしても最終報告される修正計画32には必須の制約違反はない。また計画調整部80に復帰制約違反を報告するとき（ステップ43及び46）、最後に修正した部分計画を除いて他の部分計画には必須の制約違反がない。

【0035】図5は、計画調整部80の処理の流れを示すフローチャートである。計画調整部80は、計画修正

処理の開始時に入力装置37から入力されたデータを修正経路探索部40に渡すほかに、修正経路探索部40からの報告や要求によって図5に示す処理を行う。計画調整部80は、まず報告や要求の種類によって処理を分岐させる(ステップ81)。終了報告のときには、与えられたテーブル名をもつ修正計画を読み込み(ステップ82)、この修正計画を編集して表示装置36上に表示する(ステップ83)。目標計画に復帰不可能の場合には、以下の第3の実施形態で述べるバックトラックの手法に従い、これまでに修正してきたある日に戻って別解を求めることができる。復帰制約違反報告のときには、受け取ったテーブル名、各修正日及び復帰制約違反度を図示しない記憶装置上のテーブルに蓄積して(ステップ84)、修正経路探索部40に戻る(ステップ85)。調整要求のときには、各修正計画について各修正日の復帰制約違反度が蓄積されたテーブルを参照して、最初の修正計画について復帰制約違反度の最も小さい部分計画を選択し(ステップ86)、目標計画となる事前計画31又は修正計画32と報告された修正計画32とを参照し、選択した部分計画について各車両が次の日に目標計画に復帰するために必要な運用の属性を設定する(ステップ87)。ここで運用属性とは、出発駅、終着駅、検査の有無などをいう。

【0036】例えば図6(a)はある車両について注目する修正日を中心にして前後5日間の運用履歴を示す図である。この運用履歴によると修正日の前後に検査がないため、制約b「各車両は3日以内に検査を受けること」によりこの車両がつぎの日に目標計画に復帰するためには修正当日に検査を受ける必要がある。また修正前日の終着駅がB、修正翌日の出発駅がBであることから、制約a及び制約hによりこの車両が次の日に目標計画に復帰するためにはこの車両は出発駅がB、終着駅がBである運用を行う必要がある。このようにしてこの車両が必要な運用属性は検査有無が有、出発駅がB、終着駅がBとなる。図6(b)は対象となる実際の各車両の運用と、これに対する各車両の必要な運用を並列させたものである。

【0037】ステップ87の処理に続いて各車両について実際の運用と目標計画に復帰するために必要な運用とを比較して運用属性が一致しない車両を抽出する(ステップ88)。図6(b)の例によれば車両番号4番の車両の運用属性が一致しない。次に運用属性の一致しない車両について、必要な運用を採用することによって制約緩和するときの候補とする(ステップ89)。具体的にはルールベース35及び車両運用表33を参照して制約緩和したときのコストを計算する。以下にルールの例を挙げる。

ルールs：出発が7時以後の運用には早期検査を入れる；コスト100

ルールt：予備車両に検査を入れる；コスト120

例えば図6(b)の車両番号4番の車両の運用が7時以後の出発であれば、ルールsを適用して制約緩和でき、そのときのコストは100である。部分計画全体のコストは、制約緩和した運用のコストをすべて合計したものである。次にステップ86～89の処理を所定回数行っていないければ(ステップ90NO)、ステップ86に戻り、復帰制約違反度が蓄積されたテーブルを参照して、同じ修正計画の中で復帰制約違反度が次に小さい部分計画を選択して上記処理を繰り返す。ステップ86～89の処理を所定回数行ったかまたは対象とする部分計画が尽きたとき(ステップ90YES)、以上の処理によって制約緩和したときコスト最小となる部分計画を制約緩和した部分計画に修正して、この制約緩和した部分計画を含む修正計画を編集して表示装置36上に表示する(ステップ91)。制約緩和した運用を強調表示するとよい。また制約緩和によるコストも表示する。なお同じ修正計画の中で修正した各部分計画をそれぞれ制約緩和した部分計画に修正して各々を含む修正計画を表示装置36上に表示し、情報処理装置の操作者が各制約緩和された修正計画を採用するか否かの判断をしてもよい。このようにすると、ルールベース35に登録されたルールに頼らず人間が制約緩和する部分計画を1つ1つチェックできる。入力装置37からの指示があれば、計画調整部80はステップ86に戻り、次の修正計画についてステップ86～ステップ91の処理を繰り返す。

【0038】上記実施形態によれば、1つの修正計画32の中で復帰制約違反度の小さい部分計画を選択し、さらに制約緩和したときのコストが最小の部分計画の制約を緩和している。このようにしてコストが最小の部分計画を1つ選択して制約緩和すれば、制約伝播の方向に沿って次の日から目標計画に復帰できる。最終的な修正計画は、制約伝播の方向に沿って制約緩和した部分計画までが制約緩和の対象となった修正計画32、次の日から目標計画であり、両計画を制約緩和した部分計画と次の日の部分計画との間の境界で結合したものである。そして最終的な修正計画は、制約iに従えば6日以内に事前計画31に復帰するものとなる。

【0039】(3)第2の実施形態

第1の実施形態は、各車両に対して1日分の運用を割り当てる。すなわち各車両に割り当てる運用は1日を単位とする。1日の運用を時刻によって展開すると、より小さい単位の運用に細分される。第2の実施形態は、このようにより細分化された運用を単位として車両に割り当てることによって修正計画の制約違反を克服しようとするものである。

【0040】図7は、山ダイヤと呼ばれる車両運用の例を示す図である。図7(a)は、運用番号0の運用の詳細を示す山ダイヤである。図の横軸は時刻を示し、縦軸方向に車両が停車する駅を示している。山ダイヤはいくつかの線分が連なった折れ線で描かれ、各線分は車両が

どの時刻にどの駅とどの駅を結ぶ路線を走っているかを示している。図から1日の運用は線分を単位として分割可能であることがわかる。図7(a)は、出発駅A、終着駅B、検査有の運用を展開して示す山ダイヤである。図7(b)も図7(a)と同様の山ダイヤであるが、運用番号4の運用の詳細を示す山ダイヤであり、出発駅B、終着駅C、検査無の運用を展開して示すものである。

【0041】第2の実施形態は、車両運用表33に格納する各運用について山ダイヤを格納するファイルをもつ以外は第1の実施形態と同じシステム構成である。計画調整部80は、修正経路探索部40から調整要求を受けて制約緩和を試みるが制約a又は制約hを守ることができず、制約緩和が困難な場合を考える。例えば2つの車両について対象とする実際の運用及び必要な運用は、図8に示すものとする。車両番号5の必要な運用は図7

(a)に示す運用番号0の運用であり、車両番号6の必要な運用は図7(b)に示す運用番号4の運用である。しかし対象とする運用はそれぞれ車両の終着駅が異なっていてこのような運用は存在しない。この場合には運用番号0と運用番号4の運用はともに時刻14:00~15:00の間に駅Cに入庫しているので、両方の運用を時刻14:00~15:00の間で分割し、運用番号0の運用の前半と運用番号4の運用の後半とを接続すると、車両番号5の対象とする運用を満足する。また運用番号4の運用の前半と運用番号0の運用の後半とを接続すると、車両番号6の対象とする運用を満足し、制約違反が解消される。

【0042】計画調整部80は、図8に示すように運用属性の一致しない車両についての情報を表示装置36上に表示し、操作者が入力装置37を介して必要な運用を指示することによって山ダイヤを格納するファイルを検索して指示された運用番号の山ダイヤを読み込んで表示装置36上に表示する。操作者からの指示に従って1日の運用を分割した運用のそれぞれに運用番号を付与して修正した修正計画を表示装置36上に表示する。

【0043】第2の実施形態は、できるだけ1日の運用を単位として車両に割り当てることにして、制約違反度最小と制約緩和のためのコスト最小の条件によって車両に対する運用を絞り込み、絞り込んだ結果どうしても制約緩和できない運用に対して図7に示すような山ダイヤのデータを適用して制約違反を克服するものである。このように対象を階層的に絞って行くことによって探索空間を削減することができる。

【0044】(4)第3の実施形態

本実施形態は、第1の実施形態の経路探索の方法にさらにバックトラックの手法を加えるものである。制約iによれば「6日以内に事前計画に復帰すること」という目標制約があり、第1の実施形態ではこの制約に従ってステップ55の所定回数を5に設定した。そしてステップ

55で所定回数に達したときステップ43又は46に行き、計画調整部80に復帰制約違反を報告した。本実施形態は、ステップ42とステップ43の間及びステップ45とステップ46の間で制約の集合CNDの目標制約違反の場合のコストを変更し、最後に作成した修正計画32を保存するために複写して新しいテーブル名を付与し、ステップ42又はステップ45の処理を繰り返す。すなわち修正日が故障の翌日又は最後の修正日に戻って同じ探索伝播方向について一次経路探索又は二次経路探索を行う。このようにしてバックトラックを行うことによって必須制約を充足する解が得られることがある。バックトラックによっても制約充足解が得られないとき、ステップ43又はステップ46へ行き、元の経路探索によって得た修正計画32とバックトラックによって得た修正計画32とについて計画調整部80に報告する。なおバックトラックのための修正経路が複数あるときには、並列計算機を構成する各計算機に同一の修正計画32の複写を与え、経路探索処理(ステップ42又は45)を並行して行うことができる。

【0045】(5)他のアプリケーションについて
上記実施形態は、車両運用計画の修正問題を例にとつて説明したが、一般には所定時間を連続する複数の時間帯(1時間、1日、1週間など)に分割し、並行して作業可能な複数の資源の1つと時間帯の1つに対して資源の運用形態のうちの1つを割り当てる計画を修正する問題と考えることができ、他のアプリケーションに適用することは容易である。例えば看護婦を資源、その勤務形態を運用形態ととらえれば病院の看護婦勤務計画に適用することが可能である。このとき病院の事情に応じて必須制約及び目標制約の条件を設定すればよい。

【0046】

【発明の効果】本発明によれば、部分計画を単位としてできるだけ1つの部分計画について必須制約を充足する最適解を求め、さらに必須制約を充足する場合にできるだけ事前計画を修正しないことを条件とする目標制約を充足するような最適解を求めることによって、修正を局部的に抑えるような計画修正ができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施形態の情報処理装置の構成図である。

【図2】実施形態の車両運用表を示す図である。

【図3】実施形態の車両運用計画を示す図である。

【図4a】実施形態の修正経路探索部40の処理の流れを示すフローチャートである。

【図4b】図4aに続く処理の流れを示すフローチャートである。

【図5】実施形態の計画調整部80の処理の流れを示すフローチャートである。

【図6】実施形態の運用履歴、対象とする車両運用及び必要な運用を示す図である。

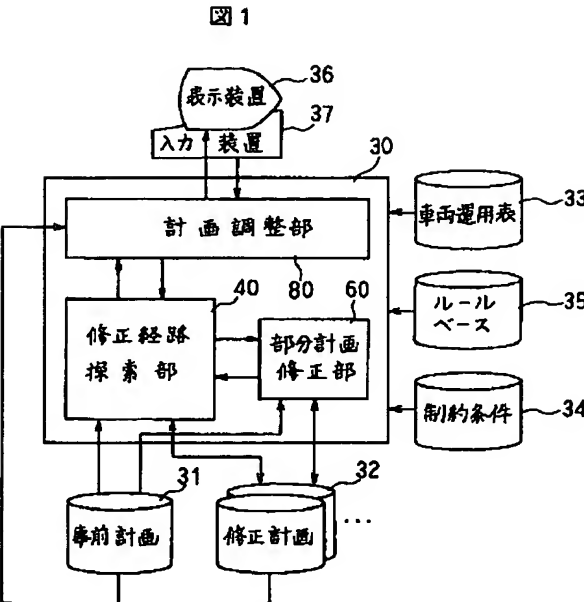
【図7】実施形態の山ダイヤを示す図である。

【図8】実施形態の対象とする車両運用及び必要な運用を示す図である。
【符号の説明】

* 32・・・修正計画、34・・・制約条件、40・・・修正経路探索部、60・・・部分計画修正部、80・・・計画調整部

【図1】

【図6】



(a)

	-2日	-1日	修正日	+1日	+2日
検査の有無	無	無		無	無
出発駅	A	C		B	E
終着駅	C	B		E	A

(b)

車両番号	対象とする運用			必要な運用		
	検査有無	出発駅	終着駅	検査有無	出発駅	終着駅
1	有	A	B	有	A	B
2	有	B	C	有	B	C
3	無	C	C	無	C	C
4	無	B	B	有	B	B

【図2】

	出発駅	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	終着駅
0	A								列車検査中無効													B
1	B																					B
2	B														列車検査							B
3	B																					B
4	B																					C
5	C														列車検査							B
6	B																					B
7	B																					D
8	D														列車検査中無効又は大遅延							B
9	-														予備運用							-
10	B																					E
11	E														列車検査							B
12	B																					B
13	B																					F
14	F														列車検査 中遅延							B
15	B																					B
16	B														列車検査							G
17	G																					B
18	B																					A
19	B														月例検査前特選							B
20	B														月例検査							B
21	B														特別検査							B
22	B														特別検査前特選							B

【図8】

図 8

車両番号	対象とする運用			必要な運用		
	検査有無	出発駅	終着駅	検査有無	出発駅	終着駅
5	有	A	C	有	A	B
6	無	B	B	無	B	C

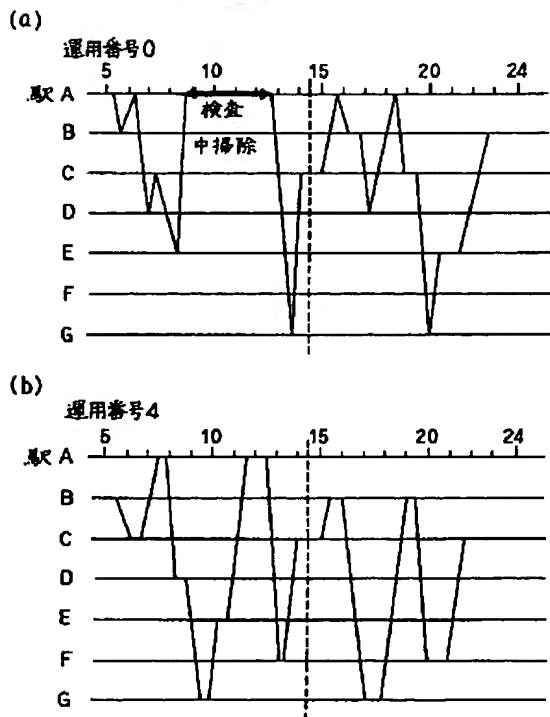
【図3】

車両 号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
01	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
02	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
03	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	19	20	20	20	4	5	6
04	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2
06	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	4	5	20	20	20	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
08	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
07	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4
08	9	18	0	1	2	3	20	20	20	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
09	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	19	20	20	20	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3
11	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7
12	22	22	22	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5
14	1	2	3	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	9	9	9
15	15	16	17	4	5	6	7	8	19	19	20	20	20	6	7	8	9	10	11	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
16	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1
17	17	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0
18	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	12	20	20	20	7	8	9	10	11	12	13
19	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
21	19	19	19	20	20	20	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0	1	2	3	4	5	6	7	8

図
ω

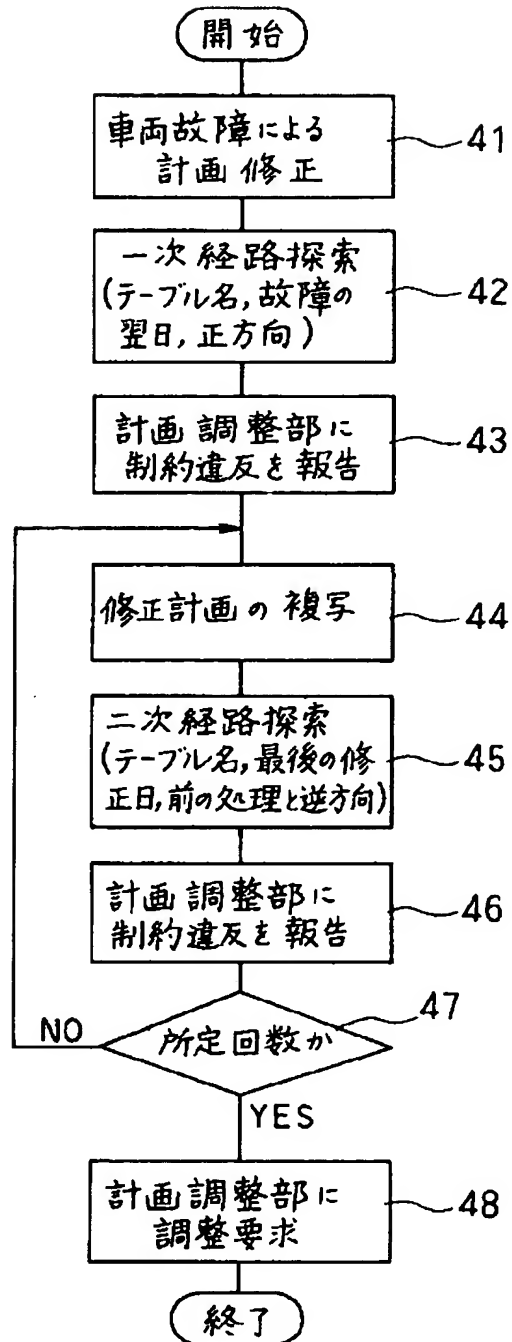
【図7】

図7



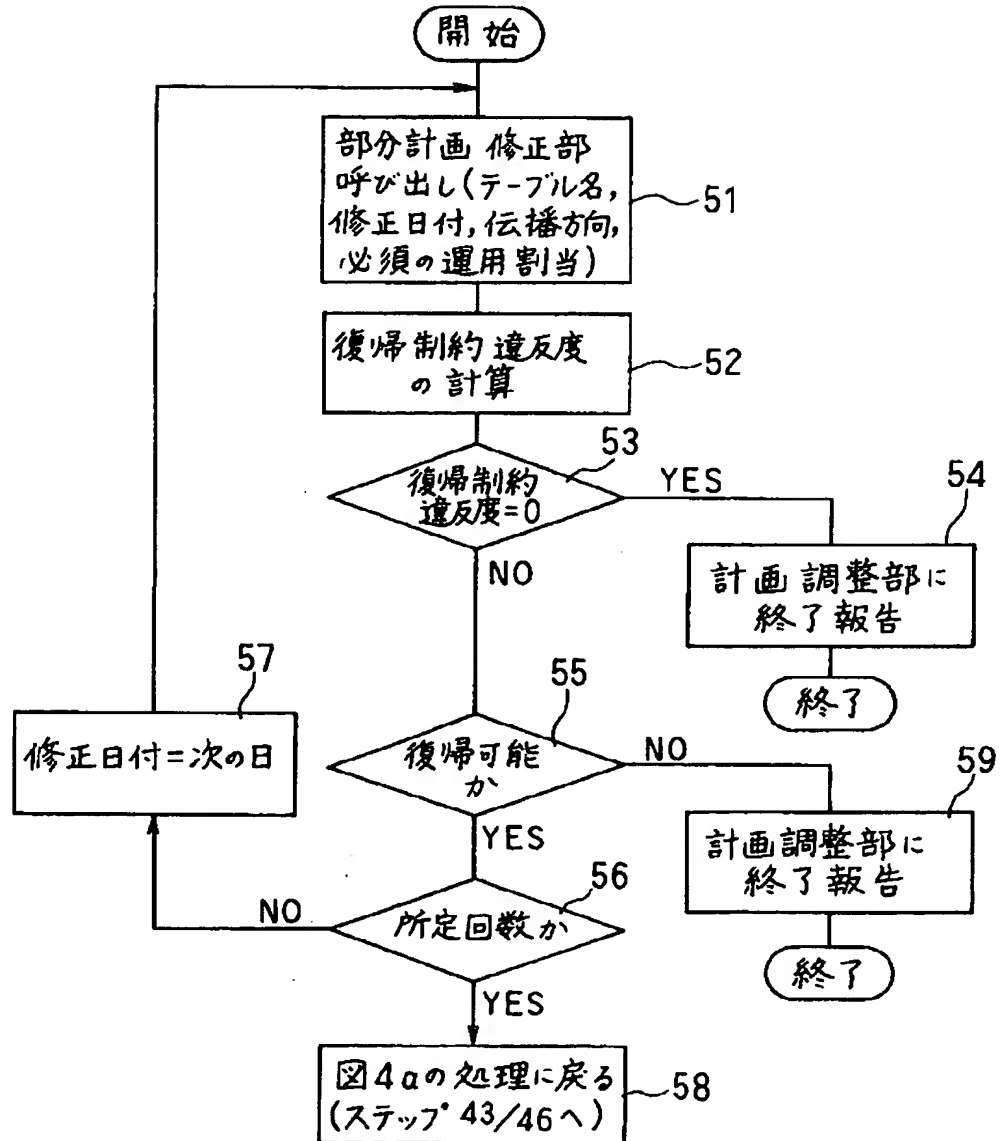
【図 4 a】

図 4 a



【図 4 b】

図 4b



【図5】

図5

